

공동주택단지의 개발계획단계 시 에너지 수요예측 프로세스에 관한 연구

문선혜*, 허정호**

*서울시립대학교 대학원 건축공학과(aosxlzhdj@hanmail.net)
**서울시립대학교 건축학부 교수, 공학박사(huhj0715@uos.ac.kr)

A Study on the Process of Energy Demand Prediction of Multi-Family Housing Complex in the Urban Planning Stage

Mun, Sun-Hye*, Huh, Jung-Ho**

*School of Architecture and Architectural Engineering, Graduate School, University of
Seoul(aosxlzhdj@hanmail.net),

**School of Architecture and Architectural Engineering, University of Seoul(huhj0715@uos.ac.kr)

Abstract

Currently energy use planning council system is mandatory especially for the urban development project planned on a specified scale or more. The goal of existing demand prediction was to calculate the maximum load by multiplying energy load per unit area by building size. The result of this method may be exaggerated and has a limit in the information of period load.

The paper suggests a new forecasting process based on standard unit household in order to upgrade the limit in demand prediction method of multi-family housing complex. The new process was verified by comparing actual using amount of multi-family housing complex to forecasting value of energy use plan.

Keywords : 에너지수요예측(energy demand prediction), 공동주택 단지(multi-building complex), 에너지사용계획서(energy use planning), 도시재생(urban renaissance), 시뮬레이션(simulation)

1. 서 론

1.1 연구의 목적

21세기 세계 대도시의 화두는 도심부와 구시가지 등 낙후된 지역의 물리적 환경을 개선하고, 경제·사회·문화적 활력의 제고를 목표로 하는 도시재생정책 (urban regeneration)이다. 국내에서도 2002년 서울

의 뉴타운 사업을 계기로 외국의 도시재생 사례가 소개되는 등 많은 논의가 이뤄졌으며, 인천과 대전시 등 지방대도시에서도 구도심 활성화와 지역균형발전 차원에서 다양한 사업들이 전개되고 있다.¹⁾

도시재생정책의 성공적인 실행을 위해서는

1) 김재권, 국내 도시재생사업의 추진동향과 과제

개발과정이 선계획-후개발의 원칙하에 이루어져야 한다. 이에 따라 산업자원부와 에너지관리공단에서는 계획단계에서 사업 대상지의 에너지수급체계의 적정화를 도모하고, 에너지이용효율 극대화하기 위하여 에너지사용계획협의 제도를 실행하고 있다. 협의 대상은 표 1과 같다.²⁾

표 1. 에너지사용계획 협의 대상

공공사업	연간 2.5TOE이상 열·연료 또는 연간 1천만kWh이상 전력
민간사업	연간 5천TOE이상 열·연료 또는 연간 2천만kWh이상 전력

에너지사용계획협의 시에 제출하는 에너지사용계획서에는 에너지 수요예측에 관한 내용을 포함하고 있어야 한다. 계획서의 작성시 에너지수요예측은 각종 통계분석결과로부터 제시된 원단위 단위부하 및 연간가동률 등을 적용하는 것을 원칙으로 하고 있다.

건물의 에너지수요를 예측하는 방법에는 디그리데이를 이용하는 방법, 전부하 상당 운전시간에 의한 방법, 부하 빈도표에 의한 방법 그리고 기상자료와 설계자료 등을 이용한 정밀계산 방법 등으로 구분할 수 있다.

다수의 에너지사용계획서 작성시 사용되는 에너지 수요예측 방법은 표준BIN법을 변화시킨 방법으로써 1년의 8,760시간을 유한 요소치로 구분하여 최근 10년간 기상Data에서 외기평균온도 평균값을 구하고 설계실내·외 온도차와 실제 실내·외 온도차를 대비시켜 평균온도 이하의 외기조건에서 전산 처리한다. 이는 건물의 에너지부하에 영향을 미치는 다양한 요소에 대한 고려가 불가능하기 때문에 에너지계획상 왜곡이 발생할 수 있다.

또한 기간별 부하에 대한 검토가 가능하지만 3시간단위로 계산을 하기 때문에 정확성이 높지는 않다.

에너지사용계획서의 작성단계에서 제공되는 정보는 극히 제한적이기 때문에 주어진 정보를 최대한 활용하여 논리적으로 수요예측을 하는 것이 광역도시 및 복합단지의 에너지이용효율화 측면에서 시급한 과제이다.

본 연구에서는 기존 방법의 이러한 한계를 보완하고 발전시키기 위하여 국내의 수요예측관련 문헌 및 통계자료를 바탕으로 하여 표준단위세대모델을 제시하였고, 이를 바탕으로 대단위 단지의 에너지수요예측을 실시하였다. 이러한 과정을 통하여 증가하고 있는 광역단지 및 복합단지의 에너지수요예측의 방법론을 제안하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

광역도시 및 복합단지의 에너지수요예측을 위해서는 각 건물 용도별 수요예측이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 그에 대한 시발점으로 공동주택 단지를 대상으로 선정하였다. 공동주택은 다른 용도의 건물에 비하여 규모, 재료 등의 측면에서 정형화 되어있기 때문에 모델링에 유리한 반면에 실내 거주스케줄이나 가전기기의 사용량 등 실내 발열요소에 관한 측면은 각기 다르므로 에너지 수요예측이 어렵다는 단점도 있다. 본 연구에서는 주거용 건물의 에너지수요예측시 요구되는 실내발열요소에 대하여 국내 실정에 적합한 논리적 값을 제시하기 위하여 국내 연구자료 및 통계자료를 적용하였으며, 국외 자료는 가능한 배제하였다.

도시재생 사업은 기존의 낙후된 지역 환경을 새롭게 개선하는 사업이므로 본 연구에서는 건물의 시공연도는 고려하지 않았다. 또한 새로 지어지는 건물들은 현 건축법규(건물에너지절약설계기준 등)를 따르는 것으로 가정하였다.

건물의 에너지 수요예측을 위하여 건물에너지해석프로그램인 DesignBuilder와 EnergyPlus를 이용하여 연구를 실행하였다. 본 연구에서는 DesignBuilder에서 1차적으로

2) 산업자원부·에너지관리공단, 에너지사용계획협의제도 안내, 2005.

표준단위세대모델의 규모, 벽체, 창면적 등의 작업을 실시한 뒤, EnergyPlus에서 2차적으로 세부모델링 작업을 실시하여 표준단위세대를 작성하였다. 그림 1은 그 과정을 나타낸 것이다. EnergyPlus의 세부모델링 작업시 건물시스템의 경우, 본 연구에서는 단지 계획 시 요구되는 건물부하만을 대상으로 하였기 때문에 건물의 설비 시스템을 제외한 Purchased Air를 적용하여 시뮬레이션을 실행하였다. Purchased Air는 가상공조시스템으로써 사용자가 설정한 실내조건을 유지시키기 위하여 요구되는 총에너지소비량을 산출하는 방식이다.

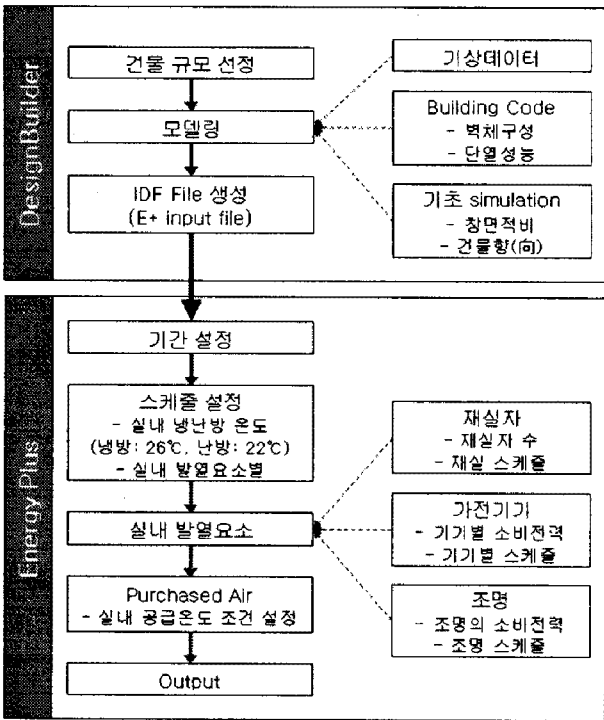


그림 4. 표준단위세대 모델링

이와 같이 작성된 표준단위세대 모델을 바탕으로 하여 동의 규모를 적용하여 한 개 동의 에너지수요예측을 실시하고, 그 결과를 토대로 단지의 에너지수요예측을 실시하였다. 마지막으로 이러한 결과를 실제 대상지역에 적용하여 검증 실시하였다. 검증은 에너지사용계획서 상의 결과와 제안한 프로세스에 의한 방법 그리고 실제소비량의 비교

를 통해 이루어졌으며, 정보의 한계로 난방 에너지에 대한 비교만 실시하였다.

2. 수요예측 프로세스

건물의 에너지 수요예측은 기간부하의 산정을 목표로 하는 것과 장치 설계용의 최대 부하 산정을 목적으로 하는 것으로 나눌 수 있다. 구체적인 계산 방법으로는 냉난방도일법, 최대부하계산법, 전부하 상당운전법, BIN법, 수정BIN법, 동적열부하계산법 등이 있다.

현재 에너지사용계획서상에서는 실제 건물 부하 예측 시 부하계산법이나 BIN법등이 많이 적용되고 있는 실정이다. 그러나 이러한 에너지 해석 방법들은 각각 지니고 있는 한계점에 의해 실제 현상과 같이 시간이 경과함에 따라 변화하는 실내 열환경 상태와 열 부하 변동을 해석할 수 없다. 그러므로 수치해법으로 해석할 수 있는 동적 에너지 해석이 필요하다.

또한 기존의 프로세스는 단위면적당 에너지부하량과 각 건물 규모를 곱하여 에너지 수요예측을 하기 때문에 부하에 대한 세밀한 검토가 이루어지기 어렵다. 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 시뮬레이션을 접목시킨 수요예측 프로세스를 제시하였으며, 그 프로세스는 그림 2와 같다.

현행 에너지수요예측에서는 기상조건과 단위난방부하만을 고려하고 있으나 제시된 프로세스에서는 추가적으로 공동주택의 층, 높이, 향, 단열조건 등을 고려하여 좀 더 구체적인 에너지 수요예측이 가능하도록 하였다. 또한 시뮬레이션 틀을 바탕으로 하기 때문에 변수의 변화에 따른 결과를 손쉽게 얻을 수 있다.

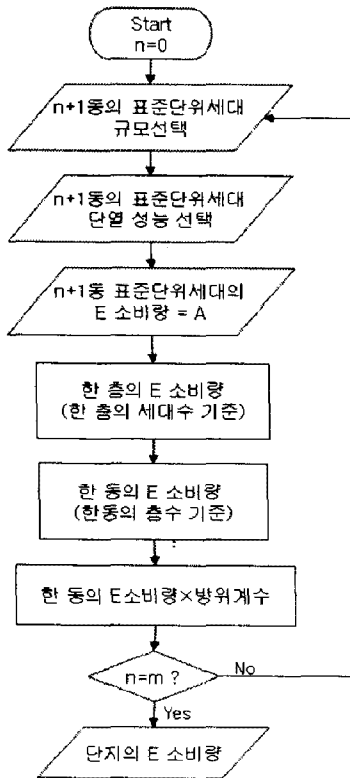


그림 6. 수요예측 프로세스 (안)

표준단위세대 모델의 세부 설정조건은 표 2와 같다.

먼저 대표모델의 평수선정은 서울지역 공동주택의 사용건평별 호수를 바탕으로 하였다. 서울통계연보에 따르면 19~29평형대의 호수가 가장 많은 것으로 나타났으며, 이를 바탕으로 정규분포를 따른다. 각 벽체의 단열성능은 '에너지절약설계기준'을 바탕으로 하여 선정하였으며, 각 벽체의 구성은 국내의 연구문헌을 바탕으로 하였다. 표준단위세대의 창면적비를 결정하기 위하여 본 연구에서는 기초 시뮬레이션을 실시하였다. 그 결과 남측창의 창면적비가 80%일 때 냉난방에너지 소비량의 합이 가장 낮은 것을 알 수 있었다. 그러므로 남측창의 창면적비를 80%로 설정하고, 북측의 창면적비를 30%로 설정하였다. 창의 구성은 이중창을 기본으로 가정하였으며, 단열성능은 외벽에 포함시켜 선정하였다. 선정결과는 표 3과 같다.

표 2. 표준단위세대 모델

규모 (m ² (평)/unit)	33.06(10)	82.65(25)	165.29(50)
외피특성			
외벽 ³⁾ (W/m ² ·K)	0.96	0.82	0.81이하
지붕 (W/m ² ·K)	0.22		
최하층 바닥 (W/m ² ·K)	0.31		
세대간 바닥 (W/m ² ·K)	0.748		
세대간 벽 (W/m ² ·K)	8.537		
창면적비 (%)	80(남측창)		
창호구성	2-pane		
	various		
실내발열특성			
조명 (W/unit)	192	410.4	634.8
장비 (W/unit) ⁴⁾	430	1,020	2,270
재실자 (인)	4		
건물방위	정남향		

표 3. 외벽 및 창의 구성에 따른 단열성능

	외벽	창	성능
1	XPS (Extruded Polystyrene_CO2 Blowing) 65mm	6Clear+6Air+6Clear	하
2		5Clear+Argon10+5Clear	중
3		5Clear+11Argon+5Clear	상
4	MW Glass Wool (rolls) 75mm	5Clear+7Air+5Clear	하
5		5Clear+12Argon+5Clear	중
6		6Clear+6Krypton+6Clear	상
7	EPS (Expanded Polystyrene(Lightweight)) 85mm	5Clear+8Air+5Clear	하
8		5Clear+12Krypton+5Clear	중
9		5Clear+8Krypton+5Clear	상

조명 및 가전기기의 소비전력은 국내 통계자료를 바탕으로 설정하였으며, 단위세대의 규모에 따라 그 값을 달리하였다. 재실자 수는 4인(직장인, 주부, 중학생, 초등학생)으로 가정하였으며, 표준단위세대의 향은 정남향으로 설정한 후, 동규모의 수요예측 시 방위별 가중계수를 고려하도록 하였다.

이와 같이 설정된 표준단위세대의 월별 에너지수요 패턴은 그림 3과 같다. 난방에너지

3) 외벽의 단열성능의 변화는 '에너지성능지표 검토서'를 기준으로 하여 변화시켰으며, 창의 열관류율을 포함하여 계산하였다.

4) 황영현, 에너지 관련 환경분석 및 신재생에너지 특성비교, 2005, SK건설기술정보 7호, p.18

는 1월이 가장 높고 냉방에너지는 8월이 가장 높은 것으로 나타났다.

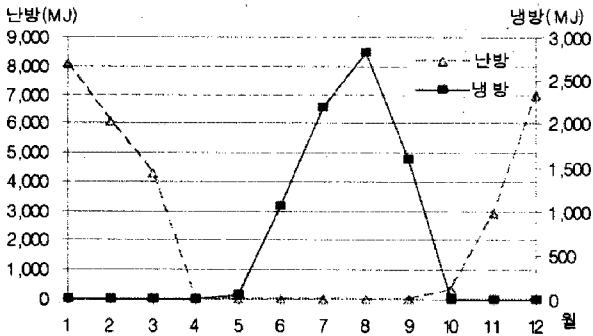


그림 8. 표준단위세대의 월별 에너지수요 패턴(25평)

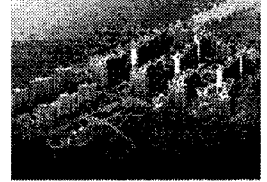


(a) 4단지

(b) 5단지



(c) 6단지



(d) 7단지

그림 4. 대상단지 조감도

3. 사례분석

3.1 대상지역 개요

○○택지개발지구는 서울시 마포구 ○○동 일대에 미래형 복합도시인 “새천년 신도시”를 조성하고자 하는 목표아래 추진된 곳이다. 본 연구에서는 표준단위세대를 이용한 수요예측 프로세스를 ○○택지개발지구에 위치한 ○○아파트 4~7단지에 적용해 보았다. 대상 지역에는 지역난방이 적용되었으며, 입주비율은 약 97%이다.

표 4 및 그림 4의 단지별 현황을 살펴보면, 각 세대수와 층수, 건물의 향이 다양하기 때문에 개별적인 수요예측을 실시할 경우 상당한 시간과 노력이 요구될 것이다. 본 연구에서 제시된 프로세스에서는 표준모델을 바탕으로 세대수와 건물 향만을 변화시키기 때문에 시간과 노력이 많이 절감될 수 있다.

표 4. ○○ 아파트 4~7단지 현황

단지별 동수	세대수	한층당 세대수	층수	건물 방위
401~412	761	2~4	16~26	SE, SW, S, W
501~508	436	2~5	17~21	SE, SW, S
601~614	484	2~6	6~14	SE, S
701~717	735	2~6	13~15	SE, SW, S, W

3.2 수요예측 결과 및 분석

표 5는 표준단위세대모델을 통하여 그림 2의 프로세스를 통하여 예측된 단지별 연간 에너지소비량 이다.

표 5. 단지별 연간 에너지수요 예측량

	4단지	5단지	6단지	7단지	합계
난방	26,733	15,294	16,839	25,426	84,292
냉방	6,135	3,672	4,008	6,147	1,996
합계	32,868	18,966	20,847	31,573	86,288

본 연구에서는 표준단위세대를 바탕으로 한 프로세스에 의하여 예측된 ○○택지개발지구의 ○○아파트 4~7단지 에너지수요량에 대하여 검증은 하였다. 검증은 세 가지 데이터의 비교를 통해서 실시하였다. 먼저 제시된 프로세스에 의한 방법, 에너지사용계획협의 시 작성되었던 방법 그리고 실제 대상지역의 에너지소비량을 비교하였다. 에너지사용계획협의 및 실제 대상지역의 에너지소비량에서 냉방부하는 전력소비량에 포함되기 때문에 현 단계에서는 비교가 어렵다. 그러므로 난방에너지에 대해서만 연간 및 월별에 대하여 비교를 실시하였다.

○○택지개발지구의 경우 에너지사용계획서 작성 시 외기온도의 변화에 따른 식을 통

하여 난방 부하량을 산출하였다. ○○택지개발지구의 에너지사용계획 시에 작성한 공동주택의 난방 부하량은 본 연구의 대상지역 이외의 지역이 포함되어 있어 ○○아파트 4단지에서 7단지만을 대상으로 난방 부하량 산출을 재 실시 하였다.

난방면적을 제외한 모든 변수는 에너지사용계획서 상의 값과 동일하게 적용하였다.

단위 난방열부하 49Kcal/m²·h, 난방면적은 총 2416세대의 면적에 난방 면적을 80%를 적용한 255,129m²를 입력하였다. 설계 외기온도 -11.9℃, 설계 실내온도 20℃, 외기온도는 EnergyPlus에서 제공하는 시간별 데이터를 사용하였다. 난방은 24시간하는 것으로 계획서와 동일하게 설정한 후 산출하였다. 또한 외기온도가 16℃ 이상 일 때는 난방을 하지 않는 것으로 가정하였다.

$$Q_L(Gcal/y) = \sum \frac{q_h \times A_h \times T_h \times (t_i - t_o)}{(t_i - t_o)}$$

- QL : 난방 부하량 (Gcal/y)
- qh : 단위 난방열부하 (Kcal/m²·h)
- Ah : 난방 면적(m²)
- Th : 난방 시간(hr)
- ti, to, to' : 설계 실내온도, 설계 외기온도, 외기온도(℃)

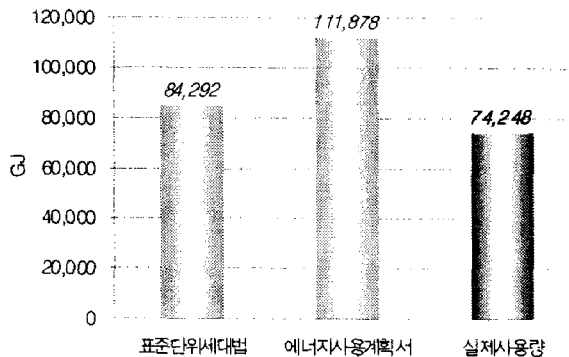


그림 5. 수요예측 방법에 따른 난방에너지 예측결과

그림 5는 에너지사용계획서 상의 식을 통하여 산출한 값과 앞서 표준단위세대모델을 통해 예측한 값, 실제사용량의 연간 데이터를 나타낸 것이다.

그림 5에 나타나 있듯이, 표준단위세대모델을 바탕으로 예측된 결과가 실제사용량 대비 13% 높게 예측된데 비하여 에너지사용계획서 상의 방법은 50% 높게 예측되어 표준단위세대모델이 실제사용량에 더 근접한 것을 알 수 있다.

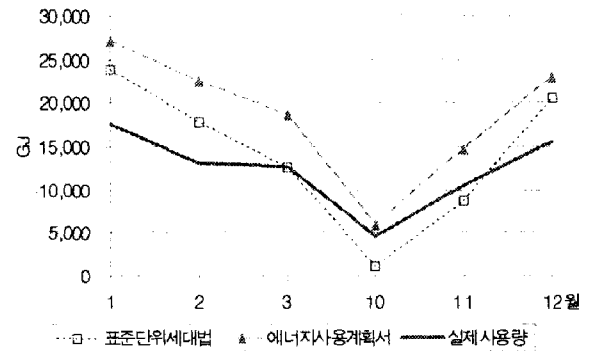


그림 6. 월별 난방에너지 수요예측 비교

그림 6은 난방기간 동안 월별 에너지소비량을 비교한 것이다. 표준단위세대에 의해 예측된 에너지소비량 그래프가 난방부하가 증가하는 1월과 12월에 실제사용량에 비하여 높게 예측되고 난방부하가 상대적으로 작은 10월에는 낮게 예측되는 것을 알 수 있다. 에너지사용계획서의 방법은 난방기간 동안 실제사용량에 비하여 항상 높은 것을 알 수 있다. 10월을 제외한 모든 달이 실제사용량과의 차이가 크다.

5. 결론

본 연구에서는 광역도시 및 복합단지의 에너지수요예측에 대한 연구의 일환으로 개발 계획단계 시 공동주택 단지의 에너지수요예측을 실시하였다. 대규모 단지의 에너지수요예측을 위하여 표준단위세대를 기반으로 한 프로세스를 제시하였고, 제시된 방법을 검증하기 위해 대상지역을 선정하여 에너지사용계획서 상의 방법 및 실제사용량과 비교한 결과 표준단위세대를 바탕으로 예측된 결과는 기존의 방법과 비교하였을 때 타당성을

갖는 것을 알 수 있었다.

향후, 도시재생 시 복합단지를 구성하는 상용건물, 업무용건물 등 다양한 건물용도에 대한 연구를 추진할 예정이다. 이를 위해선 국내 건물용도별 에너지소비 데이터베이스 구축이 요구된다.

Science and Technology.
8. EnergyPlus 2.1 Manual(2007),
www.eere.energy.gov

후 기

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2007년도 첨단도시개발사업(과제번호:07도시재생B04) 지원사업으로 이루어진 것으로 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 박화춘(2003), 단위 건물의 에너지부하 모델 개발, 설비저널 제32권 11호.
2. 박화춘, 임용훈(2005), 소형가스 열병합발전 시스템 최적설계를 위한 주요 수요처별 일별 부하특성 검토, 설비 공조·냉동·위생 2005년 2월호.
3. 서울특별시(1998), 서울시 상암지구 택지 개발사업 에너지 사용계획서, 서울특별시.
4. 에너지관리공단(2006), 2006년 국가에너지종합 분석보고서(가정/상업부문).
5. 최원기, 김현중, 서승직(2007), 아파트의 열성능 분석을 위한 시뮬레이션 방법론에 관한 연구(TRNSYS를 이용한 모델링 방법론을 중심으로), 대한건축학회논문집 계획 23권 9호.
6. Joe Huang, Hashem Akbari, Leo Rainer, and Ron Ritschard(1991), 481 Prototypical commercial buildings for 20 urban market areas, Gas Research Institute.
7. Linda Pedersen(2007), Load modelling of buildings in mixed energy distribution systems, Norwegian University of